

把持動作の筋電図学的解析と機能的電気刺激による制御

著者	松下 登
号	2539
発行年	1993
URL	http://hdl.handle.net/10097/20881

氏 名（本籍）	まつ 松	した 下	のぼる 登
学 位 の 種 類	博 士 （ 医 学 ）		
学 位 記 番 号	医 第 2 5 3 9 号		
学位授与年月日	平 成 5 年 2 月 24 日		
学位授与の条件	学位規則第4条第2項該当		
最 終 学 歴	昭 和 47 年 3 月 30 日 国立療養所東京病院附属リハビリテーショ ン学院作業療法学部卒業		
学 位 論 文 題 目	把持動作の筋電図学的解析と機能的電気刺激による制御		

（主 査）

論文審査委員	教授 半 田 康 延	教授 中 村 隆 一
	教授 桜 井 実	

論文内容要旨

手の巧緻な動作の遂行にあたって、手指機能が円滑にかつ効率的に遂行されるために、手根はある一定の機能的肢位に保持されることが知られている。この機能的肢位に保持されるためには、手指の筋の作用とともに、手根の筋群の協調的作用が重要であろうと推測される。これらの筋の作用を解明するにあたって、動作筋電図をもとにした解析が、一つの方法であることも知られている。そこで今回我々は、手根に関連する筋の作用を、動作筋電図を用いて解析するとともに、この解析結果をもとに、機能的電気刺激 (Functional Electrical Stimulation : FES) を用いて麻痺手の制御を試みた。

健常人の動作筋電図は、コップ握り動作 (cylindrical palmar prehension) 時の、手と手根に関連する18の筋を対象として測定した。これを多チャンネル差動増幅器にて増幅後、全波整流し、時定数0.5秒で積分した。これらのデータは、Data recorder および Pen recorder に記録し、分析に用いた。また動作時の手根の角度変化を、Electric Goniometer を用いて同時誘導するとともに記録した。対象とした動作は、指の開き (opening) と、直径 6 cm のコップの把持 (grasp) とし、加えて各筋の最大収縮を測定した。被験者は15名の健常人ボランティアであった。筋電図解析は、各筋の動作中における活動量を定量的に表すため、個々の筋の動作中における筋放電積分値を、最大筋放電積分値に対する百分率として求め、解析に用いた。そしてこの解析結果をもとに、FES を用いて麻痺手を制御するために、刺激データを作成した。この刺激データを、手根を含めた手指機能の廃絶した C₄ 四肢麻痺患者 3 例と、C₅ 四肢麻痺患者 1 例に与え、それによって再建された把持動作の分析を行った。

健常人の動作筋電図の結果から、opening では、指の伸筋である指伸筋 (ED) と、手根の屈筋である橈側手根屈筋 (FCR)、尺側手根屈筋 (FCU)、長掌筋 (PL) などに活動が認められた。一方母指に関連する筋では、短母指伸筋 (EPB)、長母指外転筋 (AbPB) に活動が認められた。この opening 動作に際して、手根の角度は 5° 掌屈位を示した。

次に grasp では、前述した筋の活動は減少し、代わって指の屈筋である、浅指屈筋 (FDS)、深指屈筋 (FDP) と、手根の伸筋である長橈側手根伸筋 (ECRL)、短橈側手根伸筋 (ECRB) の活動が、opening に比べて増大した。一方母指に関連する筋では、長母指屈筋 (FPL)、短母指屈筋 (FPB)、母指対立筋 (OpP)、母指内転筋 (ADD)、第一背側骨間筋 (1st DI) などの筋活動が opening に比べて増大していた。この grasp 時の手根の角度は、背屈 45° を示し、機能的肢位に保持された。ただし被験者によって動作時の筋活動の変化は種々のパターンを示したが、主としてここに述べたような筋活動の推移が認められた。

これら動作筋電図解析の結果からは、コップの grasp に際して、手指の動作を円滑に遂行するために、手根の屈筋と伸筋のバランスのとれた協調作用が重要であることが判った。さらにこの協調作用によって手根は、コップの grasp 時に、背屈45° 前後の機能的肢位に保持され、円滑な把持動作が得られることが判った。

これらの筋電解析結果をもとに、FES を用いて cylindrical palmar prehension 動作を制御するための標準刺激パターンを作成した。これを刺激データ作成コンピュータシステムであるシステムコントローラ (NEC San-ei FESMATE 1000シリーズ) に入力し、患者の被刺激筋の刺激閾値と刺激最大電圧をキーボードから入力することによって、個々の患者専用の刺激データを作成した。この刺激データを、当該患者のポータブル FES 装置 (FES MATE1000 NEC San-ei Tokyo) に転送し、制御を試みた。制御対象は、手根を含めた手指機能の廃絶した四肢麻痺患者 4 例であった。その結果、動作筋電図解析の際に示された、健常被験者の把持動作と同様のパターンが再現され、手根は45° 背屈位に固定された。また制御スピードのコントロールや、ある一定の角度に関節を保持する位置の制御も、容易にできることが判明した。さらに実際に制御を試みた結果、手根と手指の関節が一定の角度に保持され、コーヒー缶の把持が可能であることも判った。

このように、筋電図学的動作解析と、筋電積分値をもとに作成した刺激データによる、制御動作の解析を併せて行うことによって、関節運動に関与する筋の役割が、より明確になることが期待される。このことは、FES による動作制御の面だけでなく、機能解剖学や運動生理学の面からも、意義のあることと思われる。

審 査 結 果 の 要 旨

本論文は、頸髄損傷などで麻痺した手指と手根を、機能的電気刺激（FES）によって機能再建することを目的として、コップ握り動作時の前腕筋群および母指の筋群の筋電図解析をおこない、さらにそれらの積分筋電図データを刺激データに変換し、頸髄損傷によるC4およびC5四肢麻痺患者の麻痺手に応用し、制御を試みた報告である。

著者は、筋内埋め込みワイヤ電極を、前腕と母指の全ての筋に留置し、多チャンネル筋電計によって同時記録し、把持動作の解析を試みている。このような解析法によって、個々人の筋の収縮パターンの共通点、相違点が明確になり、より精度の高い分析が可能となっている。この点だけを、より詳細に検討を加えていっても、さらに貴重なデータが得られるであろう。

FESという観点からみると、世界的にみても、手指のみの制御によって把持動作を制御した報告はあるものの、手根と手指を同時に電気刺激し、その協調動作を制御する試みをおこなった報告はまったくない。この点で、きわめて新規性の高い論文といえよう。

本論文では、コップ握りという1動作のみの解析と制御の報告であるが、この手法によって、多数の筋によって遂行される多関節運動が、容易に制御し得るようになったことが判明したことの意義は大きいものと思われる。ことに、手指の関節全体に十分力を入れて測定した動作筋電図をもとに、FESの刺激データを作成する方法によって（5頁）、速度と位置の制御ができるようになり、ジュース入り缶のように比較的重いものでも、また柔らかい物体でも、把持できるようになったことは特筆すべきもので、FESの実用性の上で重要であろう。実際、この手法を基本として、実用性の高い肘、肩へのFESが容易に実現されてきている。

本論文は、このような一連の研究結果をもとに、本手法が、多関節制御をFESで行う上で、一つの有用な方法であることを示した点に主眼が置かれている。そのため、まだまだ解析すべきことが多く残されているが、今後の研究で明確にされていく部分であろう。

本論文は、このように、今後に多くの研究テーマを提供する発展性のある論文といえよう。したがって、博士論文としての価値が十分あるものと思われる。